

**PREDIKSI *SOLAR FLARES* MENGGUNAKAN PRODUK DATA  
*VECTOR MAGNETIC SDO/HMI* DAN *RANDOM FERNS***

**SKRIPSI**

diajukan untuk memenuhi sebagian dari  
syarat memperoleh Gelar Sarjana Komputer  
Program Studi Ilmu Komputer



Oleh  
Rooseno Rahman Dewanto  
1304654

**PROGRAM STUDI ILMU KOMPUTER**

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN ILMU KOMPUTER**

**FAKULTAS PENDIDIKAN MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA**

**2020**

**PREDIKSI *SOLAR FLARES* MENGGUNAKAN PRODUK DATA  
*VECTOR MAGNETIC SDO/HMI* DAN *RANDOM FERNS***

Oleh  
Rooseno Rahman Dewanto

Sebuah skripsi yang diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh  
Gelar Sarjana Komputer pada Fakultas Pendidikan Matematika dan  
Ilmu Pengetahuan Alam

© Rooseno Rahman Dewanto 2020  
Universitas Pendidikan Indonesia  
Agustus 2020

Hak cipta dilindungi undang-undang.  
Skripsi ini tidak boleh diperbanyak seluruhnya atau sebagian,  
dengan dicetak ulang, difoto kopi, atau cara lainnya tanpa izin dari penulis.

**LEMBAR PENGESAHAN**

**PREDIKSI *SOLAR FLARES* MENGGUNAKAN PRODUK DATA  
*VECTOR MAGNETIC SDO/HMI* DAN *RANDOM FERNS***

Oleh:

Rooseno Rahman Dewanto

1304654

DISETUJUI DAN DISAHKAN OLEH:

Pembimbing 1

**Dr. Lala Septem Riza, M.T.**

NIP. 197809262008121001

Pembimbing 2

**Judhistira Aria Utama, M.Si.**

NIP. 197004101997021001

Mengetahui,

Kepala Departemen Pendidikan Ilmu Komputer

**Dr. Lala Septem Riza, M.T.**

NIP. 197809262008121001

## PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Prediksi *Solar Flares* menggunakan Produk Data *Vector Magnetic* SDO/HMI dan *Random Ferns*” ini sepenuhnya atas karya sendiri. Tidak ada bentuk plagiat, penyalinan atau pun pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai etika keilmuan yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Atas pernyataan ini, saya siap menanggung sanksi yang dijatuhkan kepada saya apabila ditemukan adanya pelanggaran terhadap etika keilmuan di karya ini atau terdapat klaim dari pihak lain terhadap keaslian karya ini.

Bandung, Agustus 2020

Pembuat pernyataan,

Rooseno Rahman Dewanto

NIM. 1304654

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah *Subhanahu wa Ta'ala*, karena atas kehendak dan izin-Nya-lah penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Prediksi *Solar Flares* menggunakan Produk Data *Vector Magnetic SDO/HMI* dan *Random Ferns*”.

Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menempuh gelar Sarjana Komputer di Program Studi Ilmu Komputer, Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pendidikan Indonesia.

Penulis sadari bahwa skripsi yang disusun hingga selesai masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis sampaikan permohonan maaf atas ketidaksempurnaan dalam skripsi ini. Penulis juga mengharapkan kritik dan saran yang bersifat positif agar skripsi ini dapat dibangun lebih baik lagi. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi, aamiin.

Bandung, Agustus 2020

Penulis,

Rooseno Rahman Dewanto

## UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam perjalanannya, skripsi ini dapat selesai tak lepas dari bantuan banyak pihak, seperti dorongan motivasi, bimbingan dan berbagai macam hal lainnya. Oleh karena itu, pada kesempatan kali ini, penulis mengucapkan terima kasih serta penghargaan setinggi-tingginya kepada:

1. Kedua orang tua, kakak, adik, dan keluarga yang senantiasa memberikan kasih sayang, bimbingan, dorongan, serta doa pada setiap langkah yang penulis lalui.
2. Bapak Lala Septem Riza, M.T., Ph.D., selaku Kepala Departemen Pendidikan Ilmu Komputer dan pembimbing 1 atas segala waktu dan tenaga yang dicurahkan untuk membimbing dan memberi arahan bagi penulis demi terselesaikannya skripsi ini.
3. Bapak Judhistira Aria Utama, M.Si. selaku pembimbing 2 yang juga senantiasa meluangkan waktunya untuk membantu dan membimbing penulis selama menyelesaikan penelitian di skripsi ini.
4. Bapak Eddy Prasetyo Nugroho, M.T selaku dosen pembimbing akademik kelas C2 2013 yang selalu hadir dalam memberikan arahan dan bimbingan bagi penulis selama berada dalam masa perkuliahan.
5. Seluruh jajaran rektorat, fakultas, prodi, dosen, staf, dan tenaga pendukung lain di lingkungan Universitas Pendidikan Indonesia yang senantiasa menjaga keberlangsungan kegiatan perkuliahan.
6. Seluruh teman-teman yang selalu memberikan motivasi dan bantuan kepada penulis untuk menyelesaikan keseluruhan penyusunan skripsi.

Semoga segala bentuk kebaikan diterima dan dicatat sebagai pahala, diampuni dosa dan kesalahannya, dimudahkan segala urusannya, serta semoga Allah *Subhanahu wa Ta'ala* ridho terhadapnya. aamiin.

Bandung, Agustus 2020

Penulis,

Rooseno Rahman Dewanto

# **PREDIKSI *SOLAR FLARES* MENGGUNAKAN PRODUK DATA *VECTOR MAGNETIC SDO/HMI* DAN *RANDOM FERNS***

Oleh

Rooseno Rahman Dewanto – roosenorahman@gmail.com

1304654

## **ABSTRAK**

*Solar Flares* (SFs) merupakan letusan energi tiba-tiba yang disebabkan oleh kekusutan, persilangan, atau penataan ulang garis medan magnet di dekat bintang matahari. Fenomena ini juga diketahui sebagai letusan paling kuat di tata surya yang sering kali memberi pengaruh buruk bagi cuaca ruang angkasa. Oleh karena itu, banyak peneliti dengan beragam pendekatan berusaha memprediksi akan kemunculannya. Salah satu yang berperan penting pada upaya prediksi ini adalah Instrumen *Helioseismic and Magnetic Imager* (HMI) pada *Solar Dynamic Observatory* (SDO) yang secara terus menerus mengamati *full-disk photospheric vector magnetic field* dari luar angkasa di saat kebanyakan penelitian berbasis pada observasi dari dalam bumi. Berbekal data *flux* SFs yang direkam oleh Instrumen *X-ray Sensors* (XRS) pada *Geostationary Operational Environmental Satellite* (GOES) dan dipetakan dengan data *vector magnetic* berdasarkan *Active Region* (AR) *Numbers*, pada rentang 01 Mei 2010 sampai 10 Mei 2020, penelitian ini mengajukan model prediksi *multiclass* dan *binary* SFs menggunakan Algoritma Random Ferns (RFe) dan Teknik *Oversampling*. Implementasi *Naive Bayesian Classification* pada RFe sendiri diketahui optimal menangani banyak *features* yang merupakan kunci untuk meningkatkan tingkat klasifikasi. Sementara Teknik *Oversampling* digunakan untuk menyeimbangkan kelas minor pada populasi. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa model prediksi SFs menggunakan RFe dapat mengungguli beberapa aspek penelitian terdahulu. Adapun nilai rata-rata tertinggi *sensitivity/recall*, *precision*, dan TSS *multiclass* SFs yang diraih penelitian ini secara berturut-turut adalah 74,4%, 50,3%, dan 58,7%. Sementara nilai rata-rata tertinggi *sensitivity/recall*, *precision*, dan TSS *binary* SFs yang diraih penelitian ini secara berturut-turut adalah 87,7%, 77,7%, dan 72,8%.

**Kata Kunci:** *Solar Flares*, Prediksi, *Geostationary Operational Environmental Satellite*, *X-ray Sensors*, *Solar Dynamic Observatory*, *Helioseismic and Magnetic Imager*, *Active Region Numbers*, *Vector Magnetic*, *Oversampling*, *Random Ferns*.

# **PREDIKSI SOLAR FLARES MENGGUNAKAN PRODUK DATA VECTOR MAGNETIC SDO/HMI DAN RANDOM FERNS**

Oleh

Rooseno Rahman Dewanto – roosenorahman@gmail.com

1304654

## **ABSTRACT**

*Solar Flares (SFs) are sudden bursts of energy caused by tangling, crossing, or reorganizing of magnetic field lines near sunspots. This phenomenon is also known to be the most powerful eruption in the solar system which often yield adverse impact on space weather. Therefore, many researchers with various approaches try to predict its occurrence. One that plays an important role in this prediction effort is the Helioseismic and Magnetic Imager (HMI) Instrument on the Solar Dynamic Observatory (SDO) which continuously observes the full-disk photospheric vector magnetic field from space while most research is ground-based observations. By using SFs flux data recorded by the X-ray Sensors (XRS) Instrument on the Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES) and mapped with vector magnetic data based on the Active Region (AR) Numbers, in the range 01 May 2010 to 10 May 2020, this study proposes a multiclass and binary SFs prediction model using Random Ferns (RFe) Algorithm and Oversampling Technique. The implementation of the Naive Bayesian Classification on RFe itself is known to be optimal in handling many features which are the key to increase the classification rate. While the Oversampling Technique is used to balance the minor classes in the population. The results of this study indicate that the SFs prediction model using RFe can outperform several aspects of previous research. The highest average scores for sensitivity/recall, precision, and TSS multiclass SFs achieved in this study were 74.4%, 50.3%, and 58.7%, respectively. Meanwhile, the highest average values for sensitivity/recall, precision, and TSS binary SFs achieved in this study were 87.7%, 77.7%, and 72.8%, respectively.*

**Keywords:** *Solar Flares, Prediction, Geostationary Operational Environmental Satellite, X-ray Sensors, Solar Dynamic Observatory, Helioseismic and Magnetic Imager, Active Region Numbers, Vector Magnetic, Oversampling, Random Ferns.*



## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
UCAPAN TERIMA KASIH.....	ii
ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL .....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1    Latar Belakang.....	1
1.2    Rumusan Masalah.....	5
1.3    Tujuan Penelitian.....	6
1.4    Batasan Masalah.....	6
1.5    Manfaat Penelitian.....	6
1.6    Sistematika Penulisan .....	7
BAB II KAJIAN PUSTAKA .....	9
2.1    Struktur Matahari.....	9
2.1.1    Inti Matahari.....	10
2.1.2    Zona Radiasi .....	11
2.1.3    Tachocline.....	11
2.1.4    Zona Konveksi.....	11
2.1.5    Fotosfer.....	12
2.1.6    Kromosfer.....	12
2.1.7    Daerah Transisi.....	12
2.1.8    Korona.....	13

2.2	Aktivitas Matahari.....	14
2.2.1	Medan Magnet Matahari.....	14
2.2.2	Siklus Matahari.....	15
2.2.3	<i>Sunspot</i> .....	17
2.2.4	<i>Acrive Region (AR)</i> .....	18
2.3	Solar Flares (SFs) .....	20
2.3.1	Sejarah Penelitian SFs.....	20
2.3.2	Klasifikasi SFs.....	21
2.4	Instrumen Pengamatan Matahari .....	22
2.4.1	<i>Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES)</i> .....	23
2.4.2	<i>Solar Dynamic Observatory (SDO)</i> .....	24
2.4.3	<i>NOAA AR Numbers-HARP Numbers</i> .....	30
2.5	Machine Leaming.....	31
2.5.1	<i>Supervised Learning</i> .....	33
2.5.2	<i>Unsupervised Learnings</i> .....	33
2.5.3	<i>Semi-supervised Learning</i> .....	34
2.5.4	<i>Reinforment Learning</i> .....	34
2.6	Random Ferns .....	35
2.6.1	<i>Training</i> pada RFe.....	36
2.6.2	<i>Testing</i> pada RFe.....	37
2.7	Imbalanced Data.....	38
2.7.1	Teknik <i>Oversampling</i> .....	39
2.7.2	Teknik <i>Undersampling</i> .....	39
2.7.3	Teknik SMOTE .....	40
2.8	<i>Confusion Matrix</i> .....	40
2.8.1	<i>Confusion Matrix</i> pada Klasifikasi <i>Binary</i> .....	40

2.8.2	<i>Confusion Matrix</i> pada Klasifikasi <i>Multiclass</i> .....	42
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....		44
3.1	Desain Penelitian .....	44
3.2	Alat dan Bahan Penelitian .....	47
3.2.1	Alat Penelitian .....	47
3.2.2	Bahan Penelitian .....	48
3.3	Metode Penelitian .....	49
3.3.1	Metode Literasi .....	49
3.3.2	Metode Pengumpulan Data .....	49
3.3.3	Metode Pengembangan Perangkat Lunak .....	49
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....		52
4.1	Pengumpulan Data SFs .....	52
4.1.1	Data <i>Flux</i> SFs .....	52
4.1.2	Data <i>Vector Magnetic</i> .....	55
4.1.3	Data Gabungan <i>Flux</i> SFs dan <i>Vector Magnetic</i> .....	56
4.2	Tahapan Transformasi Data SFs .....	57
4.2.1	<i>Labeling</i> Data SFs .....	57
4.2.2	Pembersihan Data SFs .....	58
4.2.3	Seleksi Data SFs Harian .....	60
4.2.4	<i>Scaling</i> Data SFs .....	62
4.2.5	Karakteristik Atribut <i>Vector Magnetic</i> Matahari .....	63
4.2.5.1	Atribut <i>Vector Magnetic</i> TOTUSJH .....	64
4.2.5.2	Atribut <i>Vector Magnetic</i> TOTPOT .....	65
4.2.5.3	Atribut <i>Vector Magnetic</i> TOTUSJZ .....	67
4.2.5.4	Atribut <i>Vector Magnetic</i> ABSNJZH .....	68
4.2.5.5	Atribut <i>Vector Magnetic</i> SAVNCP .....	70

4.2.5.6	Atribut <i>Vector Magnetic</i> USFLUX .....	72
4.2.5.7	Atribut <i>Vector Magnetic</i> AREA_ACR.....	73
4.2.5.8	Atribut <i>Vector Magnetic</i> MEANPOT.....	75
4.2.5.9	Atribut <i>Vector Magnetic</i> R_VALUE.....	76
4.2.5.10	Atribut <i>Vector Magnetic</i> SHRGT45.....	78
4.2.5.11	Atribut <i>Vector Magnetic</i> TOTBSQ .....	80
4.2.5.12	Atribut <i>Vector Magnetic</i> TOTFZ .....	82
4.2.5.13	Atribut <i>Vector Magnetic</i> EPSZ.....	84
4.2.6	Penyusunan Dataset untuk Eksperimen.....	85
4.2.6.1	Klasifikasi <i>Multiclass</i> SFs .....	85
4.2.6.2	Klasifikasi <i>Binary</i> SFs.....	87
4.3	Pengembangan Perangkat Lunak .....	88
4.3.1	<i>Crawler</i> Data <i>Flux</i> SFs dan Data <i>Vector Magnetic</i> Matahari.....	88
4.3.2	Perangkat Lunak untuk Memprediksi SFs dengan Implementasi Algoritma <i>Random Ferns</i> .....	90
4.3.2.1	<i>Requirements Analysis and Definition</i> .....	91
4.3.2.2	<i>System and Software Design</i> .....	92
4.3.2.3	<i>Implementation</i> .....	92
4.3.2.4	<i>Integration and System Testing</i> .....	98
4.3.2.5	<i>Operation and Maintenance</i> .....	103
4.4	Skenario Eksperimen .....	104
4.5	Hasil Eksperimen.....	105
4.6	Analisis dan Evaluasi.....	107
4.6.1	Multiclass SFs .....	107
4.6.1.1	Skenario 200 <i>Ferns</i> .....	108
4.6.1.2	Skenario 400 <i>Ferns</i> .....	109

4.6.1.3	Skenario 600 <i>Ferns</i> .....	111
4.6.1.4	Skenario 800 <i>Ferns</i> .....	112
4.6.1.5	Skenario 1000 <i>Ferns</i> .....	114
4.6.1.6	Skenario 5000 <i>Ferns</i> .....	115
4.6.2	Binary SFs.....	117
4.6.2.1	Skenario 200 <i>Ferns</i> .....	118
4.6.2.2	Skenario 400 <i>Ferns</i> .....	119
4.6.2.3	Skenario 600 <i>Ferns</i> .....	120
4.6.2.4	Skenario 800 <i>Ferns</i> .....	122
4.6.2.5	Skenario 1000 <i>Ferns</i> .....	123
4.6.2.6	Skenario 5000 <i>Ferns</i> .....	125
4.6.3	Evaluasi .....	126
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....		129
5.1	Kesimpulan .....	129
5.2	Saran.....	129
DAFTAR PUSTAKA.....		131
LAMPIRAN.....		141

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Stuktur lapisan interior (inti, zona radiasi, dan zona konveksi), lapisan luar (fotosfer, kromosfer, dan korona), serta posisi beberapa aktivitas matahari (ESA, 2015).....	10
<b>Gambar 2.2</b> Model temperatur untuk kromosfer, area transisi, dan korona bagian dalam yang diadaptasi dari (Athay, 2012), dengan T suhu (dalam skala logaritmik) dan jarak dari fotosfer (km).....	12
<b>Gambar 2.3</b> Gambar komposit dari SWAP Proba-2 <i>imager</i> (dengan filter 174Å) menunjukkan cakram matahari, dengan gambar cahaya putih yang direkonstruksi dari korona yang diperluas diambil pada waktu yang sama persis dari tanah (bumi), selama gerhana matahari total yang diamati pada Juli 2010 di Atoll Hao, Polinesia Prancis (ESA, 2012). ....	13
<b>Gambar 2.4</b> Ilustrasi pembentukan <i>flux</i> magnet pada matahari (Atkinson, 2013). ....	15
<b>Gambar 2.5</b> Grafik seri waktu jumlah SS beserta cakupan areanya yang diperoleh dari Royal Greenwich Observatory sejak tahun 1874 (Hathaway, 2017). ....	16
<b>Gambar 2.6</b> Grafik yang berasal dari hasil pemetaan jumlah dua aktivitas matahari, SS (garis merah) dan SFs (garis hitam) dalam periode 1980-2008 (Ryan, 2014). ....	17
<b>Gambar 2.7</b> SS yang diambil pada tanggal 1 Juli 2010 oleh <i>New Solar Telescope</i> di The Big Bear Solar Observatory (Moskowitz, 2010). ....	18
<b>Gambar 2.8</b> Bintik-bintik terang dan busur cahaya dari material matahari yang melayang di sekitar permukaan matahari atau dikenal sebagai <i>active region</i> (AR), yang diambil oleh Solar Dynamics Observatory NASA pada 20 April 2015 (Zell, 2017). ....	19
<b>Gambar 2.9</b> Sketsa SFs pertama yang diobservasi dan dicatat oleh Carrington di sebuah cahaya putih pada tanggal 1 September 1859, dimana huruf A, B, C dan D menandakan wilayah tempat keluarnya SFs (Carrington, 1859). ....	21
<b>Gambar 2.10</b> Konfigurasi satelit GOES-1M (Rao et al., 1990). ....	23
<b>Gambar 2.11</b> Keluaran instrumen XRS pada saluran panjang (berwarna merah) dan saluran pendek (berwarna biru) dari satelit GOES-16 untuk jangka waktu 3 hari pada bulan Agustus 2020 (SWPC, 2020). ....	24

<b>Gambar 2.12</b> Struktur dari instrumen HMI (Scherrer et al., 2012). .....	25
<b>Gambar 2.13</b> Tangkapan layar dari proses pendeteksian ARs secara otomatis pada cakram matahari yang terjadi pada Maret 2012 (JSOC, 2010). .....	26
<b>Gambar 2.14</b> Skema komponen dasar dalam tahap <i>training</i> pada <i>machine learning</i> . .....	31
<b>Gambar 2.15</b> Skema komponen dasar dalam tahap <i>testing</i> pada <i>machine learning</i> . .....	32
<b>Gambar 2.16</b> Ilustrasi klasifikasi dan regresi pada metode <i>supervised learning</i> (Rossant, 2014). .....	33
<b>Gambar 2.17</b> Ilustrasi <i>clustering</i> pada metode pembelajaran <i>unsupervised learnings</i> . .....	34
<b>Gambar 2.18</b> Ilustrasi <i>weak classifiers</i> pada RFe.....	35
<b>Gambar 2.19</b> Ilustrasi proses evaluasi <i>features</i> pada satu <i>fern</i> untuk setiap sampel data yang dipetakan menuju <i>node</i> tertentu yang diadaptasi dari (Oberweger, 2014) .....	37
<b>Gambar 2.20</b> Ilustrasi dari teknik <i>oversampling</i> dan <i>undersampling</i> yang diadaptasi dari (Estabrooks et al., 2004).....	39
<b>Gambar 3.1</b> Ilustrasi desain penelitian yang digunakan dalam penelitian. ....	44
<b>Gambar 3.2</b> Model pengembangan perangkat lunak <i>waterfall</i> yang diadaptasi dari (Sommerville, 2016).....	50
<b>Gambar 4.1</b> Tangkapan layar <i>redirectpage</i> laman NOAA ( <a href="https://www.noaa.gov/">https://www.noaa.gov/</a> ) ketika <i>government shutdown</i> di Amerika Serikat yang menampilkan pesan tidak tersedianya situs NOAA.....	52
<b>Gambar 4.2</b> Histogram distribusi atribut <i>vector magnetic</i> TOTUSJH sebelum diubah skalanya.....	65
<b>Gambar 4.3</b> Histogram distribusi atribut <i>vector magnetic</i> TOTUSJH sesudah diubah skalanya.....	65
<b>Gambar 4.4</b> Histogram distribusi atribut <i>vector magnetic</i> TOTPOT sebelum diubah skalanya.....	66
<b>Gambar 4.5</b> Histogram distribusi atribut <i>vector magnetic</i> TOTPOT sesudah diubah skalanya.....	67

<b>Gambar 4.6</b> Histogram distribusi atribut <i>vector magnetic</i> TOTUSJZ sebelum diubah skalanya.....	68
<b>Gambar 4.7</b> Histogram distribusi atribut <i>vector magnetic</i> TOTUSJZ sesudah diubah skalanya.....	68
<b>Gambar 4.8</b> Histogram distribusi atribut <i>vector magnetic</i> ABSNJZH sebelum diubah skalanya.....	69
<b>Gambar 4.9</b> Histogram distribusi atribut <i>vector magnetic</i> ABSNJZH sesudah diubah skalanya.....	70
<b>Gambar 4.10</b> Histogram distribusi atribut <i>vector magnetic</i> SAVNCPD sebelum diubah skalanya.....	71
<b>Gambar 4.11</b> Histogram distribusi atribut <i>vector magnetic</i> SAVNCPD sesudah diubah skalanya.....	71
<b>Gambar 4.12</b> Histogram distribusi atribut <i>vector magnetic</i> USFLUX sebelum diubah skalanya.....	72
<b>Gambar 4.13</b> Histogram distribusi atribut <i>vector magnetic</i> USFLUX sesudah diubah skalanya.....	73
<b>Gambar 4.14</b> Histogram distribusi atribut <i>vector magnetic</i> AREA_ACR sebelum diubah skalanya.....	74
<b>Gambar 4.15</b> Histogram distribusi atribut <i>vector magnetic</i> AREA_ACR sesudah diubah skalanya.....	74
<b>Gambar 4.16</b> Histogram distribusi atribut <i>vector magnetic</i> MEANPOT sebelum diubah skalanya.....	76
<b>Gambar 4.17</b> Histogram distribusi atribut <i>vector magnetic</i> MEANPOT sesudah diubah skalanya.....	76
<b>Gambar 4.18</b> Histogram distribusi atribut <i>vector magnetic</i> R_VALUE sebelum diubah skalanya.....	77
<b>Gambar 4.19</b> Histogram distribusi atribut <i>vector magnetic</i> R_VALUE sesudah diubah skalanya.....	78
<b>Gambar 4.20</b> Histogram distribusi atribut <i>vector magnetic</i> SHRGT45 sebelum diubah skalanya.....	79
<b>Gambar 4.21</b> Histogram distribusi atribut <i>vector magnetic</i> SHRGT45 sesudah diubah skalanya.....	80



<b>Gambar 4.22</b> Histogram distribusi atribut <i>vector magnetic</i> TOTBSQ sebelum diubah skalanya.....	81
<b>Gambar 4.23</b> Histogram distribusi atribut <i>vector magnetic</i> TOTBSQ sesudah diubah skalanya.....	82
<b>Gambar 4.24</b> Histogram distribusi atribut <i>vector magnetic</i> TOTFZ sebelum diubah skalanya.....	83
<b>Gambar 4.25</b> Histogram distribusi atribut <i>vector magnetic</i> TOTFZ sesudah diubah skalanya.....	83
<b>Gambar 4.26</b> Histogram distribusi atribut <i>vector magnetic</i> EPSZ sebelum diubah skalanya.....	85
<b>Gambar 4.27</b> Histogram distribusi atribut <i>vector magnetic</i> EPSZ sesudah diubah skalanya.....	85
<b>Gambar 4.28</b> Alur dari <i>crawler</i> data SFs. ....	89
<b>Gambar 4.29</b> Alur implementasi RFe untuk memprediksi SFs. ....	99
<b>Gambar 4.30</b> Struktur keluaran dari perangkat lunak. ....	103
<b>Gambar 4.31</b> Diagram garis dari rata-rata akurasi keseluruhan berdasarkan jumlah <i>features</i> pada skenario <i>multiclass</i> SFs dengan menggunakan 200 <i>ferns</i> .....	108
<b>Gambar 4.32</b> Diagram garis dari rata-rata akurasi keseluruhan berdasarkan jumlah <i>features</i> pada skenario <i>multiclass</i> SFs dengan menggunakan 400 <i>ferns</i> .....	110
<b>Gambar 4.33</b> Diagram garis dari rata-rata akurasi keseluruhan berdasarkan jumlah <i>features</i> pada skenario <i>multiclass</i> SFs dengan menggunakan 600 <i>ferns</i> .....	111
<b>Gambar 4.34</b> Diagram garis dari rata-rata akurasi keseluruhan berdasarkan jumlah <i>features</i> pada skenario <i>multiclass</i> SFs dengan menggunakan 800 <i>ferns</i> .....	113
<b>Gambar 4.35</b> Diagram garis dari rata-rata akurasi keseluruhan berdasarkan jumlah <i>features</i> pada skenario <i>multiclass</i> SFs dengan menggunakan 1000 <i>ferns</i> .....	115
<b>Gambar 4.36</b> Diagram garis dari rata-rata akurasi keseluruhan berdasarkan jumlah <i>features</i> pada skenario <i>multiclass</i> SFs dengan menggunakan 5000 <i>ferns</i> .....	116
<b>Gambar 4.37</b> Diagram garis dari rata-rata akurasi keseluruhan berdasarkan jumlah <i>features</i> pada skenario <i>binary</i> SFs dengan menggunakan 200 <i>ferns</i> . ....	118
<b>Gambar 4.38</b> Diagram garis dari rata-rata akurasi keseluruhan berdasarkan jumlah <i>features</i> pada skenario <i>binary</i> SFs dengan menggunakan 400 <i>ferns</i> . ....	120

<b>Gambar 4.39</b> Diagram garis dari rata-rata akurasi keseluruhan berdasarkan jumlah <i>features</i> pada skenario <i>binary</i> SFs dengan menggunakan 600 <i>ferns</i> . ....	121
<b>Gambar 4.40</b> Diagram garis dari rata-rata akurasi keseluruhan berdasarkan jumlah <i>features</i> pada skenario <i>binary</i> SFs dengan menggunakan 800 <i>ferns</i> . ....	123
<b>Gambar 4.41</b> Diagram garis dari rata-rata akurasi keseluruhan berdasarkan jumlah <i>features</i> pada skenario <i>binary</i> SFs dengan menggunakan 1000 <i>ferns</i> . ....	124
<b>Gambar 4.42</b> Diagram garis dari rata-rata akurasi keseluruhan berdasarkan jumlah <i>features</i> pada skenario <i>binary</i> SFs dengan menggunakan 5000 <i>ferns</i> . ....	126
<b>Gambar 4.43</b> Diagram garis yang berisi rata-rata <i>macro</i> dan <i>weighted</i> untuk <i>precision</i> , <i>sensitivity</i> , <i>specificity</i> , <i>f1-score</i> , <i>tss</i> , serta <i>accuracy</i> hasil eksperimen untuk skenario <i>multiclass</i> SFs. ....	127
<b>Gambar 4.44</b> Diagram garis yang berisi rata-rata <i>macro</i> dan <i>weighted</i> untuk <i>precision</i> , <i>sensitivity</i> , <i>specificity</i> , <i>f1-score</i> , <i>tss</i> , serta <i>accuracy</i> hasil eksperimen untuk skenario <i>binary</i> SFs. ....	128

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Klasifikasi SFs berdasarkan intensitas <i>X-ray</i> (Baker, 1970).....	22
<b>Tabel 2.2</b> Ke-25 parameter gabungan hmi.SHARPs dan cgem.Lorentz yang dievaluasi korelasinya terhadap kemunculan SFs (Bobra & Couvidat, 2015).....	27
<b>Tabel 2.3</b> Pemetaan HARP <i>s Numbers</i> dengan NOAA AR <i>Numbers</i> .....	30
<b>Tabel 2.4</b> <i>Confussion matrix</i> pada klasifikasi <i>binary</i> .....	40
<b>Tabel 2.5</b> Contoh <i>confussion matrix</i> pada klasifikasi <i>multiclass</i> .....	42
<b>Tabel 4.1</b> Ringkasan data <i>flux</i> SFs hasil deteksi XRS Satelit GOES yang berasal dari <i>library</i> Sunpy. ....	53
<b>Tabel 4.2</b> Sampel data <i>flux</i> SFs hasil deteksi XRS Satelit GOES yang berasal dari <i>library</i> Sunpy.....	53
<b>Tabel 4.3</b> Data <i>flux</i> SFs tambahan untuk rentang Januari 2020-Mei 2020 yang diperoleh dari spaceweatherlive.com .....	55
<b>Tabel 4.4</b> Sampel data <i>vector magnetic</i> yang didapat dari JSOC. ....	56
<b>Tabel 4.5</b> Sampel data <i>flux</i> SFs dan 13 atribut <i>vector magnetic</i> beserta NOAA AR <i>Number</i> dan HARP <i>Number</i> yang telah digabung. ....	56
<b>Tabel 4.6</b> Transformasi dari rentang kelas asli menjadi kelas yang disederhanakan. ....	57
<b>Tabel 4.7</b> Sampel data tanpa dan dengan <i>missing value</i> . ....	58
<b>Tabel 4.8</b> Sampel data yang tersisa sesudah dilakukannya penghapusan baris dengan <i>missing value</i> .....	59
<b>Tabel 4.9</b> Jumlah baris untuk setiap kelas sebelum dilakukannya penghapusan terhadap baris dengan <i>missing value</i> .....	59
<b>Tabel 4.10</b> Jumlah baris untuk setiap kelas sesudah dilakukannya penghapusan terhadap baris dengan <i>missing value</i> .....	59
<b>Tabel 4.11</b> Jumlah baris yang dihapus untuk setiap kelas.....	60
<b>Tabel 4.12</b> Sampel data tanpa dan dengan kemunculan SF(s) lebih dari satu kali per hari.....	61
<b>Tabel 4.13</b> Sampel data yang tersisa sesudah dilakukannya seleksi data harian pada data dengan kemunculan SFs lebih dari satu kali per hari. ....	61
<b>Tabel 4.14</b> Jumlah baris untuk setiap kelas setelah diseleksi berdasarkan kelas SFs terbesar di setiap harinya.....	62

<b>Tabel 4.15</b> Sampel data SFs dengan 13 atribut <i>vector magnetic</i> beserta GOES <i>Class</i> yang sudah diubah skalanya.....	63
<b>Tabel 4.16</b> Ringkasan dari atribut <i>vector magnetic</i> TOTUSJH. ....	64
<b>Tabel 4.17</b> Ringkasan dari atribut <i>vector magnetic</i> TOTPOT. ....	65
<b>Tabel 4.18</b> Ringkasan dari atribut <i>vector magnetic</i> TOTUSJZ. ....	67
<b>Tabel 4.19</b> Ringkasan dari atribut <i>vector magnetic</i> ABSNJZH.....	68
<b>Tabel 4.20</b> Ringkasan dari atribut <i>vector magnetic</i> SAVNCP. ....	70
<b>Tabel 4.21</b> Ringkasan dari atribut <i>vector magnetic</i> USFLUX.....	72
<b>Tabel 4.22</b> Ringkasan dari atribut <i>vector magnetic</i> AREA_ACR.....	73
<b>Tabel 4.23</b> Ringkasan dari atribut <i>vector magnetic</i> MEANPOT. ....	75
<b>Tabel 4.24</b> Ringkasan dari atribut <i>vector magnetic</i> R_VALUE.....	76
<b>Tabel 4.25</b> Ringkasan dari atribut <i>vector magnetic</i> SHRGT45. ....	78
<b>Tabel 4.26</b> Ringkasan dari atribut <i>vector magnetic</i> TOTBSQ.....	80
<b>Tabel 4.27</b> Ringkasan dari atribut <i>vector magnetic</i> TOTFZ.....	82
<b>Tabel 4.28</b> Ringkasan dari atribut <i>vector magnetic</i> EPSZ.....	84
<b>Tabel 4.29</b> Pemetaan kelas asli SFs dengan simplifikasi kelas pada kasus klasifikasi <i>multiclass</i> SFs B, C, M, dan X. ....	85
<b>Tabel 4.30</b> Jumlah baris pada <i>dataset</i> untuk setiap kelas kasus klasifikasi <i>multiclass</i> SFs (B, C, M, dan X).....	86
<b>Tabel 4.31</b> Pemetaan kelas pada kasus <i>multiclass</i> SFs dengan kasus klasifikasi <i>binary</i> SFs.....	87
<b>Tabel 4.32</b> Jumlah baris pada <i>dataset</i> untuk setiap kelas kasus klasifikasi <i>binary</i> SFs (BC dan MX).....	87
<b>Tabel 4.33:</b> Merupakan tabel perbandingan RFe dengan reduksi <i>frequency matrix</i> dan <i>package</i> rFens pada skenario 16 <i>features</i> dan 1000 <i>ferns</i> . ....	100
<b>Tabel 4.34:</b> Merupakan tabel perbandingan RFe dengan reduksi <i>frequency matrix</i> dan <i>package</i> rFens pada skenario 16 <i>features</i> dan 2000 <i>ferns</i> . ....	101
<b>Tabel 4.35</b> Skenario eksperimen yang digunakan pada penelitian.....	105
<b>Tabel 4.36</b> Sampel hasil eksperimen untuk skenario <i>multiclass</i> SFs. ....	105
<b>Tabel 4.37</b> Sampel hasil eksperimen untuk skenario <i>binary</i> SFs.....	106
<b>Tabel 4.38</b> Contoh perbandingan kelas asli dan kelas hasil prediksi pada kasus <i>multiclass</i> SFs keluaran perangkat lunak.....	107

<b>Tabel 4.39</b> Ringkasan hasil eksperimen dengan akurasi keseluruhan terbesar pada skenario <i>multiclass</i> SFs dengan menggunakan 200 <i>ferns</i> .....	108
<b>Tabel 4.40</b> Ringkasan hasil eksperimen dengan akurasi keseluruhan terbesar pada skenario <i>multiclass</i> SFs dengan menggunakan 400 <i>ferns</i> .....	110
<b>Tabel 4.41</b> Ringkasan hasil eksperimen dengan akurasi keseluruhan terbesar pada skenario <i>multiclass</i> SFs dengan menggunakan 600 <i>ferns</i> .....	112
<b>Tabel 4.42</b> Ringkasan hasil eksperimen dengan akurasi keseluruhan terbesar pada skenario <i>multiclass</i> SFs dengan menggunakan 800 <i>ferns</i> .....	113
<b>Tabel 4.43</b> Ringkasan hasil eksperimen dengan akurasi keseluruhan terbesar pada skenario <i>multiclass</i> SFs dengan menggunakan 1000 <i>ferns</i> .....	115
<b>Tabel 4.44</b> Ringkasan hasil eksperimen dengan akurasi keseluruhan terbesar pada skenario <i>multiclass</i> SFs dengan menggunakan 5000 <i>ferns</i> .....	116
<b>Tabel 4.45</b> Contoh perbandingan kelas asli dan kelas hasil prediksi pada kasus <i>binary</i> SFs keluaran perangkat lunak.....	117
<b>Tabel 4.46</b> Ringkasan hasil eksperimen dengan akurasi keseluruhan terbesar pada skenario <i>binary</i> SFs dengan menggunakan 200 <i>ferns</i> .....	118
<b>Tabel 4.47</b> Ringkasan hasil eksperimen dengan akurasi keseluruhan terbesar pada skenario <i>binary</i> SFs dengan menggunakan 400 <i>ferns</i> .....	120
<b>Tabel 4.48</b> Ringkasan hasil eksperimen dengan akurasi keseluruhan terbesar pada skenario <i>binary</i> SFs dengan menggunakan 600 <i>ferns</i> .....	121
<b>Tabel 4.49</b> Ringkasan hasil eksperimen dengan akurasi keseluruhan terbesar pada skenario <i>binary</i> SFs dengan menggunakan 800 <i>ferns</i> .....	123
<b>Tabel 4.50</b> Ringkasan hasil eksperimen dengan akurasi keseluruhan terbesar pada skenario <i>binary</i> SFs dengan menggunakan 1000 <i>ferns</i> .....	124
<b>Tabel 4.51</b> Ringkasan hasil eksperimen dengan akurasi keseluruhan terbesar pada skenario <i>binary</i> SFs dengan menggunakan 5000 <i>ferns</i> .....	126

## DAFTAR PUSTAKA

- Acton, L., Bruner, M., Lemen, J., Tsuneta, S., Ogawara, Y., Nishimura, J., Bentley, R., Culhane, L., Canfield, R., Hudson, H., & others. (1992). The Yohkoh mission for high-energy solar physics. *Science*, 258(5082), 618–625.
- Ahmed, O. W. (2012). *Enhanced flare prediction by advanced feature extraction from solar images: developing automated imaging and machine learning techniques for processing solar images and extracting features from active regions to enable the efficient prediction of solar fl.*
- Ahmed, O. W., Qahwaji, R., Colak, T., Higgins, P. A., Gallagher, P. T., & Bloomfield, D. S. (2013). Solar flare prediction using advanced feature extraction, machine learning, and feature selection. *Solar Physics*, 283(1), 157–175.
- Aschwanden, M. (2006). Physics of the Solar Corona: An Introduction with Problems and Solutions. In *Pour la Science*. <https://doi.org/10.1007/3-540-30766-4>
- Athay, R. G. (2012). *The solar chromosphere and corona: Quiet Sun* (Vol. 53). Springer Science & Business Media.
- Atkinson, N. (2013). *What Will Happen When the Sun's Magnetic Poles Reverse?* Space and Astronomy News. <https://www.universetoday.com/103960/what-will-happen-when-the-suns-magnetic-poles-reverse/>
- Auer, M. E., Guralnick, D., & Uhomibhi, J. (2017). *Interactive Collaborative Learning: Proceedings of the 19th ICL Conference-Volume 1* (Vol. 544). Springer.
- Baker, D. (1970). *Flare classification based upon X-ray intensity*.
- Barnes, G., Leka, K. D., Schumer, E. A., & Della-Rose, D. J. (2007). Probabilistic forecasting of solar flares from vector magnetogram data. *Space Weather*, 5(9).
- Bloomfield, D. S., Higgins, P. A., McAteer, R. T. J., & Gallagher, P. T. (2012). Toward reliable benchmarking of solar flare forecasting methods. *The Astrophysical Journal Letters*, 747(2), L41.

- Board, S. S., Council, N. R., & others. (2009). *Severe space weather events: Understanding societal and economic impacts: A workshop report*. National Academies Press.
- Bobra, M. G., & Couvidat, S. (2015). Solar flare prediction using SDO/HMI vector magnetic field data with a machine-learning algorithm. *The Astrophysical Journal*, 798(2), 135.
- Boucheron, L. E., Al-Ghraibah, A., & McAteer, R. T. J. (2015). Prediction of solar flare size and time-to-flare using support vector machine regression. *The Astrophysical Journal*, 812(1), 51.
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45(1), 5–32.
- Buja, A., Mease, D., & Wyner, A. J. (2007). Comment: Boosting algorithms: Regularization, prediction and model fitting. In *Statistical Science*. <https://doi.org/10.1214/07-STS242B>
- Burt, J., & Smith, B. (2012). Deep space climate observatory: the DSCOVR mission. *2012 IEEE Aerospace Conference*, 1–13.
- Byon, E., Shrivastava, A. K., & Ding, Y. (2010). A classification procedure for highly imbalanced class sizes. *IIE Transactions (Institute of Industrial Engineers)*. <https://doi.org/10.1080/07408170903228967>
- Caleo, A., & Balbus, S. A. (2016). The radiative zone of the Sun and the tachocline: stability of baroclinic patterns of differential rotation. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 457(2), 1711–1721.
- Carrington, R. C. (1859). Description of a Singular Appearance seen in the Sun on September 1, 1859. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. <https://doi.org/10.1093/mnras/20.1.13>
- Chan, P. K., Fan, W., Prodromidis, A. L., & Stolfo, S. J. (1999). Distributed Data Mining in Credit Card Fraud Detection. *IEEE Intelligent Systems and Their Applications*. <https://doi.org/10.1109/5254.809570>
- Chawla, N. v., Bowyer, K. W., Hall, L. O., & Kegelmeyer, W. P. (2002). SMOTE: Synthetic minority over-sampling technique. *Journal of Artificial Intelligence Research*. <https://doi.org/10.1613/jair.953>
- Cliver, E. (2000). Solar flare classification. *Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics*, 2285.

- Connelly, J. N., Bizzarro, M., Krot, A. N., Nordlund, Å., Wielandt, D., & Ivanova, M. A. (2012). The absolute chronology and thermal processing of solids in the solar protoplanetary disk. *Science*, 338(6107), 651–655.
- Contarino, L., Zuccarello, F., Romano, P., Spadaro, D., Guglielmino, S. L., & Battiato, V. (2009). Flare forecasting based on sunspot-groups characteristics. *Acta Geophysica*, 57(1), 52–63.
- Dayan, P. (1999). Unsupervised Learning. In E. Wilson, RA & Keil, F (Ed.), *The MIT Encyclopedia of the Cognitive Sciences*.
- de Pontieu, B., Lemen, J. R., Kushner, G. D., Akin, D. J., Allard, B., Berger, T., Boerner, P., Cheung, M., Chou, C., Drake, J. F., & others. (2014). The interface region imaging spectrograph (IRIS). *Solar Physics*, 289(7), 2733–2779.
- Domingo, V., Fleck, B., & Poland, A. I. (1995). The SOHO mission: an overview. *Solar Physics*, 162(1–2), 1–37.
- Eddy, J. A., Stephenson, F. R., & Yau, K. K. C. (1989). On pre-telescopic sunspot records. *Royal Astronomical Society, Quarterly Journal*, 30, 65–73.
- Emslie, A. G., Dennis, B. R., Shih, A. Y., Chamberlin, P. C., Mewaldt, R. A., Moore, C. S., Share, G. H., Vourlidas, A., & Welsch, B. T. (2012). Global energetics of thirty-eight large solar eruptive events. *The Astrophysical Journal*, 759(1), 71.
- Erdélyi, R., & Ballai, I. (2007). Heating of the solar and stellar coronae: a review. *Astronomische Nachrichten: Astronomical Notes*, 328(8), 726–733.
- Ergun, R. E., Larson, D., Lin, R. P., McFadden, J. P., Carlson, C. W., Anderson, K. A., Muschietti, L., McCarthy, M., Parks, G. K., Reme, H., & others. (1998). Wind spacecraft observations of solar impulsive electron events associated with solar type III radio bursts. *The Astrophysical Journal*, 503(1), 435.
- ESA. (2012, November 12). *Solar Eclipse Corona*. Space Science. [https://www.esa.int/ESA\\_Multimedia/Images/2012/11/Solar\\_eclipse\\_corona](https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2012/11/Solar_eclipse_corona)
- ESA. (2015). *The anatomy of our Sun*. Science & Exploration. [https://www.esa.int/ESA\\_Multimedia/Images/2015/12/The\\_anatomy\\_of\\_our\\_Sun](https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2015/12/The_anatomy_of_our_Sun)



- Estabrooks, A., Jo, T., & Japkowicz, N. (2004). A multiple resampling method for learning from imbalanced data sets. *Computational Intelligence*. <https://doi.org/10.1111/j.0824-7935.2004.t01-1-00228.x>
- Fawcett, T., & Provost, F. (1997). Adaptive fraud detection. *Data Mining and Knowledge Discovery*. <https://doi.org/10.1023/A:1009700419189>
- Fisher, G. H., Bercik, D. J., Welsch, B. T., & Hudson, H. S. (2012). Global forces in eruptive solar flares: the lorentz force acting on the solar atmosphere and the solar interior. *Solar Physics*, 277(1), 59–76.
- Fleck, B. (1995). The SOHO mission. In *Coronal Magnetic Energy Releases* (pp. 233–244). Springer.
- Gallagher, P. T., Moon, Y.-J., & Wang, H. (2002). Active-region monitoring and flare forecasting--i. data processing and first results. *Solar Physics*, 209(1), 171–183.
- Garg, S., & Sharma, A. K. (2013). Comparative Analysis of Data Mining Techniques on Educational Dataset. ... *Journal of Computer Applications* (0975–8887) ....
- George, R. M., & Mathew, J. A. (2016). International Journal of Computer Science and Mobile Computing Emotion Classification Using Machine Learning and Data Preprocessing Approach on Tulu Speech Data. *International Journal of Computer Science and Mobile Computing*.
- Ghezzi, I., & Ruggles, C. (2007). Chankillo: a 2300-year-old solar observatory in coastal Peru. *Science*, 315(5816), 1239–1243.
- Ghidini, T. (2018). Materials for space exploration and settlement. *Nature Materials*, 17(10), 846–850.
- Hale, G. E. (1908). On the Probable Existence of a Magnetic Field in Sun-Spots. *The Astrophysical Journal*. <https://doi.org/10.1086/141602>
- Hale, G. E., Ellerman, F., Nicholson, S. B., & Joy, A. H. (1919). The Magnetic Polarity of Sun-Spots. *The Astrophysical Journal*. <https://doi.org/10.1086/142452>
- Hathaway, D. H. (2014). *The Chromosphere*. Solar Science. <https://solarscience.msfc.nasa.gov/chromos.shtml>

- Hathaway, D. H. (2015). *The Solar Interior*. Solar Science. <https://solarscience.msfc.nasa.gov/interior.shtml>
- Hathaway, D. H. (2017). *The Sunspot Cycle*. Solar Physics. <https://solarscience.msfc.nasa.gov/images/bfly.gif>
- Hayakawa, H., Iwahashi, K., Tamazawa, H., Isobe, H., Kataoka, R., Ebihara, Y., Miyahara, H., Kawamura, A. D., & Shibata, K. (2016). East Asian observations of low-latitude aurora during the Carrington magnetic storm. *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 68(6).
- Hensey, R. (2015). *First light: The origins of Newgrange*. Oxbow Books.
- Hodgson, R. (1859). On a curious Appearance seen in the Sun. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. <https://doi.org/10.1093/mnras/20.1.15a>
- Hoeksema, J. T., Liu, Y., Hayashi, K., Sun, X., Schou, J., Couvidat, S., Norton, A., Bobra, M., Centeno, R., Leka, K. D., Barnes, G., & Turmon, M. (2014). The Helioseismic and Magnetic Imager (HMI) Vector Magnetic Field Pipeline: Overview and Performance. *Solar Physics*. <https://doi.org/10.1007/s11207-014-0516-8>
- Holman, G. D. (2007). *What is a Solar Flare?* <https://hesperia.gsfc.nasa.gov/sftheory/flare.htm>
- Jackson, B. v, Howard, R. A., Sheeley Jr, N. R., Michels, D. J., Koomen, M. J., & Illing, R. M. E. (1985). Helios spacecraft and Earth perspective observations of three looplike solar mass ejection transients. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 90(A6), 5075–5081.
- Japkowicz, N. (2000). The Class Imbalance Problem: Significance and Strategies. *Proceedings of the 2000 International Conference on Artificial Intelligence*. <https://doi.org/10.1.1.35.1693>
- Jing, J., Song, H., Abramenko, V., Tan, C., & Wang, H. (2006). The statistical relationship between the photospheric magnetic parameters and the flare productivity of active regions. *The Astrophysical Journal*, 644(2), 1273.
- JSOC. (2010). *Spaceweather HMI Active Region Patch (SHARP)*. <http://jsoc.stanford.edu/doc/data/hmi/sharp/sharp.htm>

- Kaelbling, L. P., Littman, M. L., & Moore, A. W. (1996). Reinforcement learning: A survey. *Journal of Artificial Intelligence Research*. <https://doi.org/10.1613/jair.301>
- Kaiser, M. L., Kucera, T. A., Davila, J. M., Cyr, O. C. S., Guhathakurta, M., & Christian, E. (2008). The STEREO mission: An introduction. *Space Science Reviews*, 136(1–4), 5–16.
- Kosugi, T., Matsuzaki, K., Sakao, T., Shimizu, T., Sone, Y., Tachikawa, S., Hashimoto, T., Minesugi, K., Ohnishi, A., Yamada, T., & others. (2007). The Hinode (Solar-B) mission: an overview. In *The Hinode Mission* (pp. 5–19). Springer.
- Kursa, M. B. (2012). rFerns: An implementation of the random ferns method for general-purpose machine learning. *ArXiv Preprint ArXiv:1202.1121*.
- Kuyuk, H. S., Yildirim, E., Dogan, E., & Horasan, G. (2011). An unsupervised learning algorithm: Application to the discrimination of seismic events and quarry blasts in the vicinity of Istanbul. *Natural Hazards and Earth System Science*. <https://doi.org/10.5194/nhess-11-93-2011>
- Lee, A., Taylor, P., & Kalpathy-Cramer, J. (2017). Machine Learning Has Arrived! In *Ophthalmology*. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2017.08.046>
- Li, R., Cui, Y., He, H., & Wang, H. (2008). Application of support vector machine combined with K-nearest neighbors in solar flare and solar proton events forecasting. *Advances in Space Research*, 42(9), 1469–1474.
- Liu, C., Deng, N., Wang, J. T. L., & Wang, H. (2017). Predicting Solar Flares Using SDO /HMI Vector Magnetic Data Products and the Random Forest Algorithm. *The Astrophysical Journal*. <https://doi.org/10.3847/1538-4357/aa789b>
- Lo, M., Williams, B., Bollman, W., Han, D., Hahn, Y., Bell, J., Hirst, E., Corwin, R., Hong, P., & Howell, K. (1998). Genesis mission design. *AIAA/AAS Astroynamics Specialist Conference and Exhibit*, 4468.
- Lopes, P., & Camargo, H. (2011). Semi-supervised Clustering in Fuzzy Rule Generation. In *VIII Encontro Nacional de Inteligência Artificial - ENIA2011*.
- Malandraki, O. E., Sarris, E. T., Lanzerotti, L. J., Trochoutsos, P., Tsiropoula, G., & Pick, M. (2002). Solar energetic particles inside a coronal mass ejection

- event observed with the ACE spacecraft. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 64(5–6), 517–525.
- Marov, M. Y., & Kuznetsov, V. D. (2015). Solar Flares and Impact on Earth. *Handbook of Cosmic Hazards and Planetary Defense*, 47–48.
- Meftah, M., Dewitte, S., Irbah, A., Chevalier, A., Conscience, C., Crommelynck, D., Janssen, E., & Mekaoui, S. (2014). SOVAP/Picard, a spaceborne radiometer to measure the total solar irradiance. *Solar Physics*, 289(5), 1885–1899.
- Moschou, S.-P. (2016). *Dynamics of the solar atmosphere and solar wind modeling*.
- Moskowitz, C. (2010). *New Telescope Takes Best Sunspot Photo Ever*. SPACE.Com. <https://www.space.com/9072-telescope-takes-sunspot-photo.html>
- Muhammad, I., & Yan, Z. (2015). SUPERVISED MACHINE LEARNING APPROACHES: A SURVEY. *ICTACT Journal on Soft Computing*2. <https://doi.org/10.21917/ijsc.2015.0133>
- Murphy, K. (1998). *A brief introduction to reinforcement learning*. UBC Computer Science. <https://www.cs.ubc.ca/~murphyk/Bayes/pomdp.html>
- NASA. (2017). *Layers of the Sun*. [https://www.nasa.gov/mission\\_pages/iris/multimedia/layerzoo.html](https://www.nasa.gov/mission_pages/iris/multimedia/layerzoo.html)
- NASA. (2019). *Our Sun*. <https://solarsystem.nasa.gov/solar-system/sun/in-depth/>
- Nishizuka, N., Sugiura, K., Kubo, Y., Den, M., Watari, S., & Ishii, M. (2017). Solar flare prediction model with three machine-learning algorithms using ultraviolet brightening and vector magnetograms. *The Astrophysical Journal*, 835(2), 156.
- North, J. (2007). *Stonehenge*. Simon and Schuster.
- Oberweger, M. (2014). *Embeddings for Random Ferns Classification*. <https://diglib.tugraz.at/download.php?id=576a79934ccb2&location=browse>
- O'Neill, I. J. (2006). *Quiscent Coronal Loops Heated by Turbulance*.
- Ozuysal, M., Fua, P., & Lepetit, V. (2007). Fast keypoint recognition in ten lines of code. *2007 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 1–8.

- Parker, E. N. (1955). Hydromagnetic Dynamo Models. *The Astrophysical Journal*.  
<https://doi.org/10.1086/146087>
- Pesnell, W. D., Thompson, B. J., & Chamberlin, P. C. (2011). The solar dynamics observatory (SDO). In *The Solar Dynamics Observatory* (pp. 3–15). Springer.
- Peter, H. (2001). On the nature of the transition region from the chromosphere to the corona of the Sun. *Astronomy & Astrophysics*, 374(3), 1108–1120.
- Portugal, I., Alencar, P., & Cowan, D. (2018). The use of machine learning algorithms in recommender systems: A systematic review. In *Expert Systems with Applications*. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.12.020>
- Prakash, V. J., & Nithya, Dr. L. M. (2014). A Survey On Semi-Supervised Learning Techniques. *International Journal of Computer Trends and Technology* 2.  
<https://doi.org/10.14445/22312803/ijctt-v8p105>
- Prialnik, D. (2009). An Introduction to the Theory of Stellar Structure and Evolution. In *Cambridge University Press*.
- Priest, E. R., & Forbes, T. G. (2002). The magnetic nature of solar flares. *The Astronomy and Astrophysics Review*, 10(4), 313–377.
- Qahwaji, R., & Colak, T. (2007). Automatic short-term solar flare prediction using machine learning and sunspot associations. *Solar Physics*, 241(1), 195–211.
- Ramageri, B. M. (2011). Data Mining Techniques and Applications. *Indian Journal of Computer Science and Engineering*, 301–305.
- Randle, O. A., Ogunduyile, O. O., Zuva T, & A4, F. N. (2015). A COMPARISMOF THE PERFORMANCE OF SUPERVISED AND UNSUPERVISED MACHINE LEARNING TECHNIQUES IN EVOLVING AWALE/MANCALA/AYO GAME PLAYER. In *International Journal of Game Theory and Technology (IJGTT)*.
- Rao, P. K., Holmes, S. J., Anderson, R. K., Winston, J. S., & Lehr, P. E. (1990). *Weather satellites: Systems, data, and environmental applications*.
- Reece, J. B., Meyers, N., Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., & Minorsky, P. v. (2015). *Campbell Biology Australian and New Zealand Edition* (Vol. 10). Pearson Higher Education AU.
- Rossant, C. (2014). *Introduction to Machine Learning in Python with scikitlearn*.  
<http://ipython-books.github.io/featured-04/>

- Ryan, D. F. (2014). *Plasma Diagnostics and Hydrodynamic Evolution of Solar Flares*.
- Scherrer, P. H., Schou, J., Bush, R. I., Kosovichev, A. G., Bogart, R. S., Hoeksema, J. T., Liu, Y., Duvall, T. L., Zhao, J., Schrijver, C. J., & others. (2012). The helioseismic and magnetic imager (HMI) investigation for the solar dynamics observatory (SDO). *Solar Physics*, 275(1–2), 207–227.
- Schwabe, M. (1843). Die Sonne. Von Herrn Hofrath Schwabe. *Astronomische Nachrichten, Volume 20, Issue 17*, 283. <https://doi.org/10.1002>
- Solanki, S. K., Inhester, B., & Schüssler, M. (2006). The solar magnetic field. *Reports on Progress in Physics*. <https://doi.org/10.1088/0034-4885/69/3/R02>
- Sommerville, I. (2016). *Software Engineering GE*. Pearson Australia Pty Limited.
- Space Place. (2019). *What Is the Solar Cycle?* NASA Science. <https://spaceplace.nasa.gov/solar-cycles/en/>
- Svestka, Z. (2012). *Solar flares* (Vol. 8). Springer Science & Business Media.
- SWPC. (2020). *GOES X-RAY FLUX*. <https://www.swpc.noaa.gov/products/goes-x-ray-flux>
- Ternullo, M., Contarino, L., Romano, P., & Zuccarello, F. (2006). A statistical analysis of sunspot groups hosting M and X flares. *Astronomische Nachrichten: Astronomical Notes*, 327(1), 36–43.
- van Driel-Gesztelyi, L., & Green, L. M. (2015). Evolution of active regions. *Living Reviews in Solar Physics*. <https://doi.org/10.1007/lrsp-2015-1>
- Wang, S., & Yao, X. (2012). Multiclass imbalance problems: Analysis and potential solutions. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics*. <https://doi.org/10.1109/TSMCB.2012.2187280>
- Watson, F. T. (2012). *Investigating Sunspot and Photospheric Magnetic Field Properties using Automated Solar Feature Detection*.
- Wheatland, M. S. (2005). A statistical solar flare forecast method. *Space Weather*, 3(7), 1–11.
- Wiedenbeck, M. E., Burnham, J. A., Cohen, C. M. S., Cook, W. R., Crabill, R. M., Cummings, A. C., Davis, A. J., Hernandez, L., Kecman, B., Klemic, J., & others. (2017). *Capabilities and Performance of the High-Energy Energetic-Particles Instrument for the Parker Solar Probe Mission*.

- Woolfson, M. (2014). *The formation of the solar system: theories old and new 2nd Edition*. Imperial College Press.
- Yu, D., Huang, X., Hu, Q., Zhou, R., Wang, H., & Cui, Y. (2009). Short-term solar flare prediction using multiresolution predictors. *The Astrophysical Journal*, 709(1), 321.
- Yu, D., Huang, X., Wang, H., & Cui, Y. (2009). Short-term solar flare prediction using a sequential supervised learning method. *Solar Physics*, 255(1), 91–105.
- Yuan, Y., Shih, F. Y., Jing, J., & Wang, H.-M. (2010). Automated flare forecasting using a statistical learning technique. *Research in Astronomy and Astrophysics*, 10(8), 785.
- Zell, H. (2017). *Active Regions on the Sun*. <https://www.nasa.gov/image-feature/active-regions-on-the-sun>
- Zheng, F., & Webb, G. I. (2005). A comparative study of semi-naive bayes methods in classification learning. *AUSDM05*.